



**АНАЛИЗ НА КАЧЕСТВЕНИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ НА ВЪГЛИЩАТА ОТ ПОЛЕТО НА
РУДНИК „ТРОЯНОВО-3“, ПОДАВАНИТЕ КЪМ РАЗЛИЧНИТЕ КОНСУМАТОРИ**

инж. Георги Владиславов, g_vladislavov@r3.marica-iztok.com, рудник „Трояново-3“
инж. Стилиан Стоянов, stilian.stoianov@r3.marica-iztok.com, рудник „Трояново-3“
инж. Красимир Кадифейкин, k_kadifeikin@r3.marica-iztok.com, рудник „Трояново-3“

РЕЗЮМЕ

Качествените показатели на въглищата от полето на рудник „Трояново-3“, подаваните към различните консуматори, са регламентирани в договори и споразумения за доставка на лигнитни въглища. За удовлетворяване на изискванията на контрагентите се провеждат специализирани геолого-проучвателни мероприятия, включващи дейности по сондажно и пластово-браздово (забойно) опробване и стандартизирано пробовземане (механизирано вземане на проби от движещ се поток). Качествените показатели на въглищата се определят по действащите стандарти и нормативни документи в акредитирана Изпитвателна въглехимическа лаборатория. Анализът на данните от полевите проучвателни дейности и на резултатите от лабораторните изпитванията имат важно научно-приложно значение за планиране на минно-добивната дейност в рудника и за изследване на зоните на разпространение на въглища с различни геохимични характеристики.

**ANALYSIS OF QUALITY INDICATORS OF THE LIGNITE COAL FROM "TROYANOVO-3" MINE FIELD,
SUPPLIED TO VARIOUS CONSUMERS**

Eng. Georgi Vladislavov, g_vladislavov@r3.marica-iztok.com, Troyanovo-3 mine
Eng. Stilian Stoianov, stilian.stoianov@r3.marica-iztok.com, "Troyanovo-3" mine
Eng. Krasimir Kadifeikin, k_kadifeikin@r3.marica-iztok.com, "Troyanovo-3" mine

ABSTRACT

Quality indicators of the lignite coal from Troyanovo-3 mine field, supplied to various consumers, is regulated in contracts and agreements for lignite coal supply. In order to satisfy the clients' requirements, specialized geological research measures are held, including activities related to drilling and tests performed by layers and furrows (face tests), as well as standardized sampling (mechanized sampling from running flow). Quality indicators of the lignite coal are determined in an accredited Coal-Chemical Testing Laboratory, in compliance with the currently effective standards and regulations. Both the data analysis from the field exploration activities and the analysis of the laboratory tests results have important scientific and practical significance for planning of mining activity in the specific mine and for the study of the areas of spreading (location) of lignite with different geochemical characteristics.

Във въглеобразувателния процес на територията на България по данни на Минчев (1961), Христов, Шишков (1977), Шишков (1985) и Siskov (1996) се набелязват 5 фази на активно въглеобразуване - младапалеозойска, долноюрска, горнокредна, палеогенска и неогенска. Въгленатрупването в тези фази е ставало в различни региони. По време на образуването, по тектонски строеж и палеогеографска обстановка, авторите отделят въглищни провинции. Siskov (1996) обобщава данните и обособява четири въглищни провинции в неогена, три в палеогена, две в горната креда, една в долната юра и две в горния палеозой. Принадлежността на даден басейн към една, или друга въглищна провинция не е от съществено значение за геохимичните особености на въглищата, тъй като



всеки басейн се отличава с различен състав на скалите от подхранващата провинция, различен тип на подхранване, а от там и различна киселинност на средата в торфеното блато. Именно тези показатели определят сходните съдържания на пепелообразуващите и елементите-примеси във въглищата от басейни, принадлежащи към различни въглищни провинции. Въглищата представляват горивна седиментна скала, изградена от променени в различна степен растителни останки, смесени с минерално вещество. Те са част от по-голяма група скали, означени като каустобиолити. Терминът каустобиолити е въведен от немския палеоботаник Х. Потоние през 1908 г. За основа са послужили гръцките думи „каустос“ (горящ), „биос“ (живот) и „лотос“ (камък), т.е. терминът буквално означава „горивна органична скала“ и включва всички полезни изкопаеми, изградени от променени в различна степен органични (фито- и зоо-) останки.

Въглеобразователен процес

Въглеобразуването е продължителен и многофазен процес, който продължава от стотици хиляди до стотици милиони години. Изходен материал за образуването на въглищата са растенията, които са населявали Земята от появата им през протерозоя. Първоначално те се развиват във водните басейни, като постепенно завладяват сушата. През девона се появяват първите сухоземни растения, от които в следващите геоложки епохи се развива многообразна висша растителност - спорова, голосеменна, покритосеменна. Останките от тази растителност са изходния органичен материал за образуването на въглищата. За да могат тези останки да се запазят от пълно разлагане е необходима подходяща среда. Оптимална среда се оказва тази в застоялите водни басейни, които постепенно се заблацияват.

Тракийска провинция

Включва Източномаришкия, Западномаришкия и Елховския басейни и въглепроявлението при гр. Созопол. Провинцията попада в Източносредногорската единица на Средногорската зона. Началото на въглеотлагането е започнало от края на късния олигоцен (Бродска задруга на Западномаришкия басейн (Брънкин, 1978) и е продължило до късния миоцен (Елховски басейн) (Коюмджијева и др., 1984). Това дава основание на Панов (1982) да лансира идеята за разширяваща се във времето регресия с посока от запад на изток, което е създадо условия за обширни заблациявания и образуване на големи торфени блатата. Полето на рудник „Трояново-3“ заема южната част на Източномаришкия въглищен басейн. В последните технически проекти рудник „Трояново-3“ е обозначен като „южна полоса“ на рудник „Трояново-юг“, а „северна полоса“ е рудник „Трояново-1“. В действителност, между двата рудника няма граничен целик, а границите по откривка и по въглища са технологични. Общо геоложките запаси на рудник „Трояново-3“ към 01.01.2024 г. възлизат на 537 316,2 хил. т въглища със средна пепел сухо състояние $A^d = 31,1 \%$, от които 198 708,1 хил. т със средна пепел сухо състояние $A^d = 31,5 \%$ са доказаните запаси (категория 111). Основният консуматор на въглищата от рудник „Трояново-3“ е ТЕЦ „КонтурГлобалОперейшънс България“, с инсталирана мощност след рехабилитацията от 908 MW. Към настоящия момент въглища се подават към „ТЕЦ Марица-изток 2“ съвместно с рудник „Трояново-1“. От външния въглищен склад на рудника има възможност за влаков извоз. От рудник „Трояново-3“ са реализирани въглищни доставка и чрез автотранспорт. Добивът на въглища от рудник „Трояново-3“ започва през 1969 г. и до 30.06.2024 г. са добити и реализирани общо 228 531,8 хил. т. Въгленостният комплекс в Източномаришкия басейн е съставен от три въглищни пласта, разделени от глинести междупластия. Общата дебелина на комплекса в полето на рудник „Трояново-3“ е средно от 20 m до 35 m, като постепенно намалява в южна посока, към крайнините на басейна. В най-долната част на комплекса залягат черни глини с въглищни включения, а непосредствено над тях е III-ти въглищен пласт, със средна дебелина от 1,50 m до 2,50 m, който няма повсеместно разпространение и в южната част на полето е с некондиционни дебелина и пепелно съдържание. Средното пепелно съдържание (пепел сухо състояние) на въглищата е до 32 %, като в южната част пепелта се увеличава до 42 %. Над III-ти въглищен пласт заляга междупластие от слоисти



тъмносиви на цвят глини, със средна дебелина от 2 m до 6 m. Втори въглищен пласт е основният носител на въглищните запаси. Неговата средна дебелина е от 10 - 12 m в южната част на рудничното поле и достига до 15 - 16 m на север към рудник „Трояново-1“. Пепелното съдържание се изменя от 18 % до 39 %, средно 30 %. Над горната граница на II^{ви} въглищен пласт залягат черни глини с дебелина от 10 до 15 m. В тях се установяват две неиздържани, маломощни въглищни пачки, които образуват I^{ви} въглищен пласт. Той не представлява промишлен интерес за добив. Въглищата от Източномаришкия басейн, включително и тези от рудник „Трояново-3“, се характеризират като меки, кафяви - лигнитен тип, с ниска степен на въглефикация на органична маса, с високо пепелно съдържание (от 16 % до 45 %) и влага от 50 % до 60 %. Технологично въглищата се разделят на клас енергийни (пепелно съдържание на суха маса от 25 % до 45 %) и клас брикетироеми (пепелно съдържание на суха маса от 16 % до 25 %). Калоричността им се изменя от 1350 kcal/kg до 1900 kcal/kg, средно около 1650 kcal/kg. Рудник „Трояново-3“ първоначално е проектиран така, че транспортирането на откритката и въглищата да се осъществява изцяло с гумено-лентови транспортъори (ГЛТ). Участък „Добив“ е с един транспортен клон, който се състои от три забойни ленти и пет магистрални, като едната от крайните ленти е свързана с ГЛТ № 2 на ТЕЦ „КонтурГлобалОперейшънс България“, а другата насипва чрез претоварач на външния въглищен склад. Така въглищата се транспортират от участък „Добив“ на рудника до фигурите на открития склад на термичната централа. В участък „Добив“ на рудник „Трояново-3“ работят общо 2 бр. многокофови роторни багери от типа SchRs 1200 и SchRs1301.26/5.0 и 2 бр. верижно-кофови багери от типа ERs 710. Анализът и управлението на качествените показатели на добиваните въглища е един от най-сериозните проблеми на рудника. От една страна сложността на проблема се дължи на широкия диапазон на изменение на пепелното съдържание на въглищата в пластта и изискванията, заложи в споразуменията за доставка с контрагентите. От друга страна, едновременно могат да подават въглища на лентовата система от 1 до 4 багера. Всички те работят с различна производителност и отработват забои с различно пепелно съдържание. При тези условия прогнозирането на моментното пепелно съдържание на приемната лента е невъзможно, а при прогнозиране на пепелното съдържание за смяна се получават недопустимо големи отклонения. Тези проблеми особено се изострят при съвремените икономически условия и договорните взаимоотношения с консуматорите, в които се изисква спазването на качествените показатели на подаваните въглища. Геолого-проучвателните дейности, провеждани в рудника, осигуряват допълнителна информация за качествените показатели на въглищата - съдържание на пепел и сира сухо състояние и за детайлизиране на изолиниите на литоложките разновидности, за преоценяване на балансовите запаси по въглища, за построяване на профили за стабилитетни изчисления и за окунтуряване на зоните с твърди включение и зоната на разпространение на скалната подложка в откритните хоризонти на рудник „Трояново-3“.

Геолого-сондажно проучване на въглищните запаси

Експлоатационното геолого-сондажно проучване се провежда за погъстяване на сондажната мрежа от предварителните проучвания в размер 125 m x 125 m, с цел:

- актуализиране на геоложката база данни на рудника
- преизчисляване на състоянието и движението на въглищните запаси
- съставяне на изчислителни профили и извършване на инженерно-геоложките стабилитетни изчисления на работните, подсипаните и неподсипаните неработни бордове на рудника
- съставяне на хипсометрии на долницето и горницето на въглищните пластове и междупластието
- изготвяне на инженерните проекти за развитие на минните работи
- оценка на качеството на въглищата в запасите, подготвени за изземване



Опробване на въглищни забои. Вземане на пластово-диференциални проби

Опробването на въглищните забои и/или заходки се извършва като се вземат и разработват пластово-диференциални проби от вертикални бразди, разположени през 50 m по дължината на добивния фронт и пресичащи разкритите в заходката въглища. Всяка проба характеризира съответната пачка, или прослойка от която е взета. Това браздово опробване се извършва преди да се осъществи добива по съответната заходка и има за цел:

- да се съставят технологични карти на заходките на всеки багер, работещ в участък „Добив“ на рудника
- да се планира годишно, тримесечното, месечно, седмично и сменно качество на подаваните за консуматорите въглища
- да се планира месечната, седмичната и сменната работа на добивните багери
- да се извършва оперативното управление на качеството на добиваните въглища

Пробовземане на въглища от движещ се поток

При работа на добивните багери в участък „Добив“ в рудник „Трояново-3“ се извършва шихтоване на въглищата с цел постигане на изискваните и договорените с консуматорите качествени показатели. Крайният продукт от въглища (с изискуеми качествени показатели) за консуматорите се движи по събирателна лента към пункта за вземане на проби. Преди пункта за пробонабиране потокът от въглища преминава през дробилна инсталация, монтирана на събирателна транспортна лента, която раздробява въглищния поток на късове с размери до 150 mm. Вече раздробеният и хомогенизиран въглищен поток се предвижда по транспортната лента към автоматизираната пробовземача система. Единичните точкови проби се отделят по време (на всеки 5 min) посредством чуков пробовземач с ширина на отсека (широчина на процепа на пробовземача) 450 mm. Всяка точкова проба, взета от въглищния поток, представлява пълната ширина и дълбочина на потока. След отделянето на точковата проба, излишния материал, паднал в подготвителния щранг, се връща посредством обратно отвеждане в основната част от въглищния поток на транспортната лента, отвеждаща въглищния поток към основния консуматор ТЕЦ „КонтурГлобалОперейшънс България“, или към външния въглищен склад на рудник „Трояново-3“. Отделената точкова проба посредством ъглов елеватор се предава към комплекс от делители и мелници, които последователно раздробяват пробата до 10 mm. Крайните точкови проби се събират в събирателни контейнери, които в края на всяка смяна се изваждат от събирателния пункт и посредством раздробяване до 3,15 mm, хомогенизиране и делене чрез квартоване се отделят 3 kg проба за лабораторен анализ. Раздробяването до 3,15 mm се извършва посредством ел. механична мелница.

Лаборатортен анализ на въглищните проби

Анализът на въглищните проби включва определяне на качествените показатели на въглищата, които са необходими за обезпечаване на технологичните процеси по изгарянето им в термичните централи (пепел, сярна и въглеродна сухота и работно състояние, влага обща, долна и горна топлина на изгаряне). Окачествяването на въглищата се извършва по действащите стандарти в акредитирана изпитвателна въглехимическа лаборатория. Резултатите от лабораторните анализи уреждат взаимоотношенията между рудника като продавач и топлоелектрическите централи като купувач.

Автоматизирана система за управление на качеството

Разработената и внедрена в рудник „Трояново-3“ система осигурява непрекъснато измерване на съдържанието на пепел и влага във въглищния поток, както и натоварването на лентата и общото количество въглища по събирателната лента. Чрез специализирания софтуер долната топлина на изгаряне (калоричност) на въглищата се изчислява online като текуща и като средна стойност. Подходящият потребителски интерфейс представя цялата информация, предоставена от системата и



тя също се изпраща до информационната система в необходимия формат на данните. Класическите (химически) методи за определяне на пепелното съдържание предоставят резултатите със значително закъснение, предвид технологичното време за лабораторен анализ и обработка на резултатите. Тяхната точност е силно зависима от представителността на пробоотбора, а нейното осигуряване е сложен технически и технологичен проблем. Всичко това е сериозна пречка пред ефективното управление и контрол на технологичните процеси, осъществявани при добива и изгарянето на въглища. Изборът на радиоизотопните методи за анализ на пепелното съдържание и количеството на въглищата е продиктуван от необходимостта за получаване на непрекъснати данни с минимално закъснение, максимална представителност и при ограничена човешка намеса. Нещо повече, прилагането на други методи (химически, ултразвукови, оптически, електрически и др.) на практика е неизпълнимо при реалните експлоатационни условия - силна запрашеност, вибрации, строги противопожарни изисквания, както и във връзка с необходимостта от безконтактно измерване на силно и постоянно променяща се и движеща се среда. Оптимално решаване на проблема за достатъчно точно online определяне на пепелното съдържание на въглища върху транспортна лента в реално време се постига чрез едновременно пролъчване с две различни енергии на лъчението на източника, при което се постига максимално елиминиране влиянието на променливите физични параметри и химичен състав на материала.

Определение и класификация на горивата

Енергийните горива са горими вещества, които е икономически целесъобразно да бъдат оползотворени чрез директно изгаряне за получаване на топлинна, механична, или електрическа енергия. В топлоенергетиката се използват органични енергийни горива, които представляват смес от сложни органични съединения, минерални примеси и вода. Най-често използваната класификация на органичните горива е по показателите агрегатно състояние и произход. В зависимост от агрегатното си състояние се разделят на твърди, течни и газообразни. В зависимост от произхода си те се определят като естествени, т.е. произхождащи от остатъците на растителни и животински видове и изкуствени, получени от преработката на естествените горива.

Състав на твърдите горива

Твърдите горива се разглеждат като твърд разтвор на органично вещество и минерална част (M), включващ също така и определено количество влага (W). Органичната част от своя страна съдържа следните основни елементи - въглерод (C), водород (H), органична сяра (S_{op}), кислород (O) и азот (N), образуващи по между си сложни химични съединения. Основните минерални компоненти са алуминосиликати (глинести вещества, например каолините $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$), силикати (SiO_2), карбонати ($CaCO_3$, $MgCO_3$, $FeCO_3$), сулфиди (CaS , FeS_2), сулфати ($CaSO_4$, $MgSO_4$, $FeSO_4$), железни окиси (FeO , Fe_3O_4 , Fe_2O_3), калиев и магнезиев окис (CaO , MgO) и др. Остатъкът от минералната част след изгаряне на твърдо гориво се нарича пепел (A). Практически количеството на пепелта изцяло зависи от количеството на негоримите минерални примеси. За удобство съставът на твърдите горива се представя като сума от химичните елементи, съдържащи се в органичната част, към които се добавят баластните характеристики - пепелно съдържание и влагосъдържание, явяващи се химични съединения. Отделните компоненти, участващи в така дефинирания състав, се представят с дяловото си участие (в проценти) в общата маса на разглежданото твърдо органично гориво. В зависимост от базата по отношение на която се пресмята масовия дял на горивните компоненти, са възприети:

- работна маса на горивото (M^r) - горивото във вида, в който се подава за изгаряне, т.е. включващо и баластните характеристики влага и пепел
- аналитична маса (M^a) - гориво, подготвено за анализ в лабораторни условия - смляно и подсушено до въздушно сухо състояние, при което не се променя влагата на горивото
- суха маса (M^d) - съвкупност от всички съставни части на горивото без влагата

- суха безпепелна маса (M^{daf}) - представляваща сума от елементите, образуващи органичната маса и пиритната сяра ($S_{пир}$);
- органичната маса (M^o) - горивото без влага, пепел и пиритна сяра

За така дефинираните маси са валидни съотношенията:

$$C^r (C^a, C^d, C^{daf}, C^o) + H^r (H^a, H^d, H^{daf}, H^o) + S^r (S^a, S^d, S^{daf}, S_{оп}^o) + O^r (O^a, O^d, O^{daf}, O^o) + N^r (N^a, N^d, N^{daf}, N^o) + A^r + W^r = 100 \% \quad (1)$$

Съществуването на летлива минерална част ($M_{летл}^{мин}$) в състава на горивото може да се отчете, като $M_{летл}^{мин}$ се добави от лявата страна за суха, аналитична и работна маса.

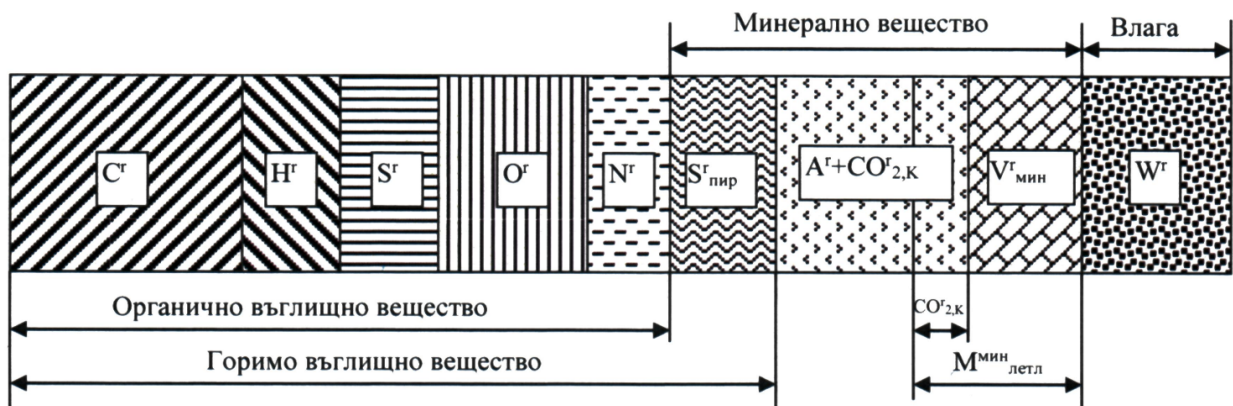
Пепелообразуващи елементи

Като пепелообразуващи елементи Юдович (1978) определя тези, които са със съдържание във въглищната пепел над 0,5 %. Върху присъствието и разпределението на пепелообразуващите елементи във въглищните басейни съществена роля са изиграли следните фактори:

- съдържанието в растенията - торфообразуватели
- концентрацията на елементите в скалите от бреговата ивица
- вида и посоката от която се е осъществявало подхранването (повърхностно, или подземно), което е внасяло теригенен материал, или минерални вещества в торфениците
- параметрите на средата в древното торфено блато
- степента на напуканост на въглищните пластове
- наличието и състава на минералните води, от които да се отложат епигенетични минерали (материали) в пукнатините на пластове

Характеристика на горимата част на твърдото гориво

Горимата част включва органичното въглищно вещество и пиритната сяра (фиг.1). Наименованието горима маса е условно, защото влизащите в нейния състав азот и кислород не са горими елементи и представляват т.н. вътрешен баласт на горивото. Процентното съдържание на петте основни химични елемента, формиращи горимата маса (съответно свойствата на тази маса) зависи от произхода на находището и от степента на неговата въглефикация.



фиг.1 - Модел на работното въглищно вещество

С увеличаване на възрастта на находището се увеличава дяла на основния горим елемент въглерода. Значително по-голямо е топлоотделянето при изгаряне на единица маса водород, но поради ниското му процентно съдържание в твърдите горива и поради разходване на част от тази топлина за изпарение на получената при окислението му вода, той се разглежда като втори по



значимост горим елемент. Определянето на съдържанието на въглерод и водород се извършва обикновено по класическия метод предложен от Либих, адаптиран за твърди горива. Същността му се състои в изгаряне на суха въглищна проба във въздушна, или кислородна среда, доизгаряне на получените газообразни продукти над меден, или кобалтов окис и поглъщане на образуваните при изгарянето на въглерода и водорода въглероден двуокис и вода в подходящи поглатители, които се теглят преди и след опита.

Сярата, влизаща в състава на твърдото гориво, се разделя на горима ($S_{\text{орг}} + S_{\text{пир}}$) и негорима (сулфатна $S_{\text{сулф}}$) сярата. Наличието на горима сярата е предпоставка за възникване на сярна корозия върху някои елементи на парогенераторите на термичните централи и за замърсяване на околната среда, поради което тя се явява нежелан елемент в състава на въглищата.

Кислородът и азотът също са нежелани елементи в органичната част на твърдото гориво, тъй като с увеличението им се намалява съдържанието на горимите елементи.

Летливи вещества (V) се наричат газовете, получени от разпадането на термически неустойчивите органични съединения в горивото. Те се образуват и отделят при нагряване на въглищата без достъп на въздух. Остатъкът главно от въглерод и пепел се нарича кокс (K). Количеството на летливите вещества и видът на коксовия остатък са важни показатели при изследването на твърдите горива. Добивът на летливи вещества характеризира термичната устойчивост на горивото и предпоставките за запалване и samozапалване.

Количеството топлина, което се отделя при изгаряне на твърдите горива, е сума от топлините в резултат на изгарянето на летливите вещества, съдържащи се в тях и на изгарянето на коксовия остатък.

Характеристика на минералната част

Минералните примеси са основен баласт във въглищата, понижаващ тяхното качество. Източници на минерални примеси в горивото са растителното вещество, от което се образуват въглищата, наноси от води и ветрове по време на пластообразуването, инфилтрация от минерализирани води и гранични земни породи, попаднали в горивото по време на добиването му. За количеството минерални примеси (M) в горивото преди всичко се съди по неговото пепелно съдържание A^d , т.е. по количеството на твърдия негорящ остатък, който се получава от изгарянето на въглищна проба при температура 800 °C. При проектирането на котлите и най-вече при проектиране на техните пещни камери е необходимо да се знаят така наречените температурни характеристики на топене на пепелта. Оценката на процеса на топене се основава на следните три характерни температури (температура на началото на деформацията t_A , температура на началото на размекването t_B и температура на стопяването t_C). Предприемането на мерки за снижаване замърсяването на нагряните повърхности в пещната камера изисква да се знае стойността на температурата, при която настъпва втвърдяване на пепелта. Обикновено тази температура е с около 50 °C по-ниска от t_B . При изгаряне на твърдото гориво във високотемпературните зони на пещта настъпва частично, или пълно стапяне на пепелта. Една част от пепелта (фракциите с по-малки размери) се отнася от газовите продукти на горене. Останалата част, под въздействие на високите температури и други фактори, претърпява допълнителни изменения и се отделя в течно, или твърдо състояние в дъното на пещната камера под формата на шлак. Температурните характеристики на топене на пепелта зависят от състава и дяловото участие на отделните пепелни компоненти. Установено е, че с нарастване дела на окисите, имащи кисел характер (SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2) за сметка на окисите с основен характер (CaO , MgO , FeO , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O) споменатите характерни температури на топене се увеличават.

Съдържание на влага в твърдите горива

Всички видове твърдо гориво (включително различните видове въглищни формации) съдържат и определено количество влага. В зависимост от формата на свързаност с горивото различаваме:

- повърхностна влага, намираща се на повърхността на въглищните частици (късове)

- капиллярна влага, разположена в капиллярите и порите на въглищните късове в резултат на т.н. капиллярна кондензация
- хигроскопична влага, разполагаща се на повърхността и във вътрешността на частиците, дължаща се на междумолекулни сили свързани с колоидно-химическата структура на органичната част на горивото; тази влага определя влажността на аналитичната проба
- хидратна вода, влизаща в състава на кристалохидратите от минералната част на въглищата (например $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$); отделянето и става само след загряване на горивото над $200\text{ }^\circ\text{C}$, тя не спада към общата влага на горивото



фиг.2 - Структурата на общата влага (W_t^r) на работна маса във въглищата

Съдържанието на влага в твърдите горива е важен показател за установяване на техния вид и качество. Повишеното влагосъдържание води до понижаване на температурите в пещната камера и увеличаване обема на пещните газове, в резултат на което се увеличават и загубите на топлина с изходящите газове. Количеството на влагата зависи от редица фактори като: произход, геоложка възраст, метеорологични условия и др.

Топлина на изгаряне

Количеството топлина, което се отделя при пълното изгаряне на единица маса твърдо гориво (при нормални условия) се нарича топлина на изгаряне на това гориво. Горната топлина на изгаряне на горивото (Q_s^r) включва и топлината, разходвана за изпаряване на водата от горивото и водата, получена от окислението на водорода при горивния процес. Тъй като изразходваната за изпаряване топлина не се оползотворява при работа на парогенераторите, топлинните пресмятания в тази област се извършват с долната стойност на топлината на изгаряне (Q_i^r , или $q_v, \text{net. m}$). Връзката между Q_s^r и Q_i^r се определя от израза:

$$Q_s^r - Q_i^r = 25,14 * (9H^r + W_t^r), [\text{kJ/kg}] \quad (2)$$

В практиката често се използва и съществуващата зависимост между топлината на изгаряне и баластните показатели на горивото (A^d, W_t^r), тъй като тяхното определяне е сравнително лесно. Тези зависимости се установяват чрез статистическа обработка на представителна по обем база данни. За сравнителни оценки, характеризиращи оползотворяването на енергийните горива, е удобна употребата на т.н. приведени характеристики на горивата. Те най-често отразяват количествата пепел, влага, или сяр, отнесени към единица топлина на изгаряне на разглежданото гориво.

$$A^{\text{II}} (W^{\text{II}}, S^{\text{II}}) = \frac{A^r (W^{\text{II}}, S^{\text{II}})}{Q_i^r} * 10^4, [\text{g/MJ}] \quad (3)$$

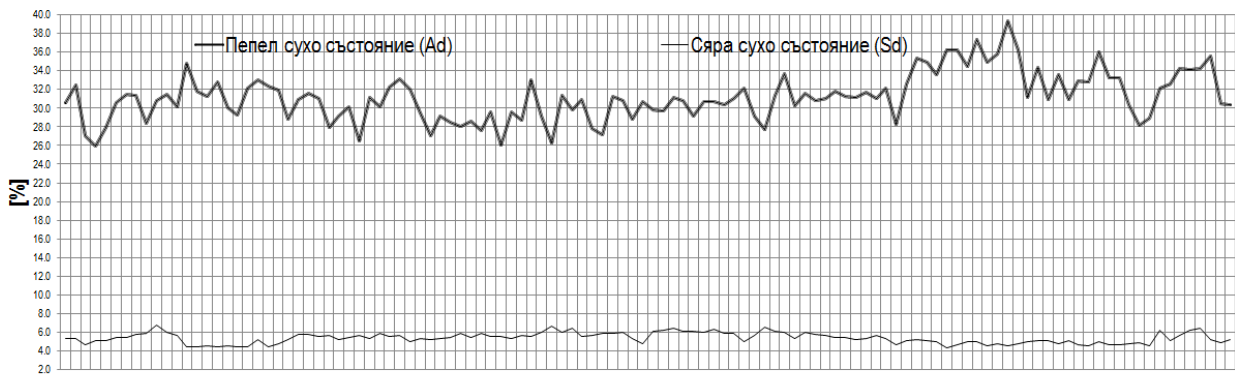
За удобство при извършване на гориво-енергийните баланси, пресмятане на енергийни запаси и др., свързани с участие на горива с различни стойности на Q_i^r , широко се използва понятието условно гориво. Условното гориво представлява теоретично (фиктивно) гориво с топлина на изгаряне $29\,308\text{ kJ/kg}$ ($7\,000\text{ kcal/kg}$). За всяко реално гориво с известна топлина на изгаряне може да бъде

определен т.н. топлинен еквивалент $Q_i^f / 29308$. За преизчисляването на количеството реално гориво в условно е необходимо това количество да се умножи с топлинния еквивалент на разглежданото гориво.

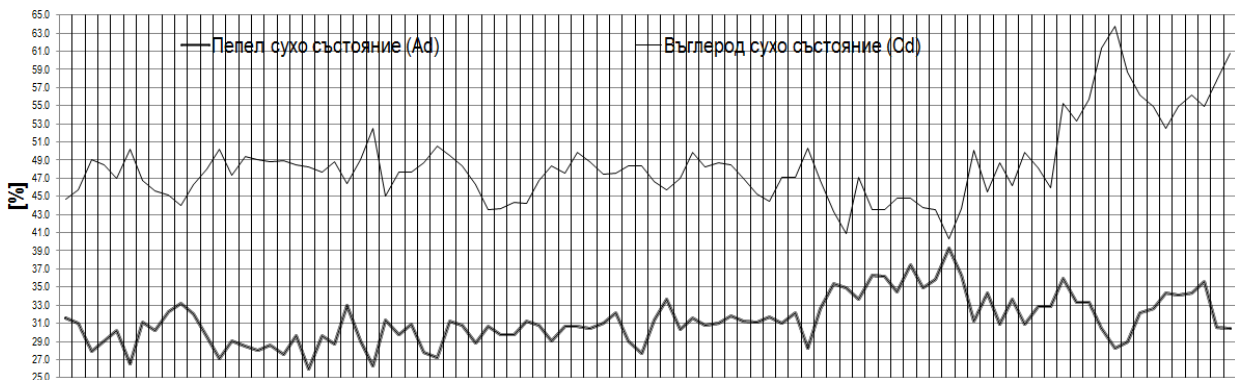
Физични свойства на твърдите горива

Основните физични свойства на твърдите горива са: плътност, зърнометричен състав, характеристики свързани с ронливост на въглищата, смлаемост, абразивност и топлофизични свойства. Твърдите горива се характеризират с насипна, привидна и истинска плътност, всяка от които има специфично информационно значение. Под истинска плътност ($\rho_{ист}$) се разбира усреднената стойност на твърдата компонента на горивото. Познаването на тази стойност се налага при технологични изчисления, свързани с пневмотранспорта, гравитационната сепарация, горенето на въглищните частици и др. Привидната (обемна) плътност ($\rho_{об}$) е плътност на въглищните частици, усреднена по целият им обем, включващ и обема на микропорите. Насипната плътност ($\rho_{нас}$) е усреднена плътност на слой гориво, при определянето на която се включват и обемите между въглищните частици, изграждащи слоя. Насипната плътност се използва за оразмеряване на съоръжения и обеми, свързани с транспортиране, съхраняване и предварителна подготовка на горивото. Средната стойност на насипната плътност на въглищата от рудник „Трояново-3“ е $\rho_{нас} = 0,8 \text{ g/cm}^3$, на привидната (обемна) плътност $\rho_{об} = 1,22 \text{ g/cm}^3$ и на истинската плътност $\rho_{ист} = 1,65 \text{ g/cm}^3$.

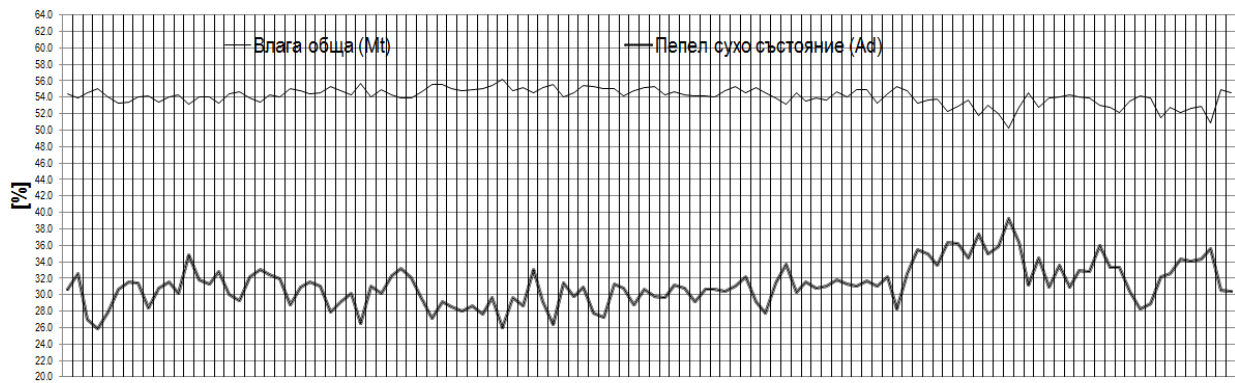
На фиг. 3, 4 и 5 са показани графичните зависимости между пепел, сяра и въглерод и пепел и влага при обработка на резултатите от 116 въглищни проби.



фиг. 3 - Графична зависимост между пепел сухо състояние (Ad) и сяра сухо състояние (Sd)



фиг. 4 - Графична зависимост между пепел сухо състояние (Ad) и въглерод сухо състояние (Cd)



фиг. 5 - Графична зависимост между пепел сухо състояние (A_d) и влага обща (M_t)

Използвана литература

1. Тончев И., Източномаришки лигнитен басейн. Основни качествени характеристики на лигнитното гориво, Енергопроект, 1973
2. Цветански А., Топлотехнически пресмятания при изгаряне на Български въглища, С., 1982
3. БДС ISO 13909-8:2017 Черни и антрацитни въглища и кокс. Механизирано вземане на проби
4. БДС EN ISO/IEC 17025:2018 Общи изисквания за компетентността на лаборатории за изпитване и калибриране